

**Marian Marek Janczarek<sup>1)</sup>**

## **EFEKTY ENERGETYCZNE UZYSKANE NA PODSTAWIE BADAŃ PROCESÓW CIEPLNYCH W PRZECHOWALNIACH W REGIONIE LUBELSKIM**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiona jest analiza przejścia ciepła przez ścianę technicznej komory z uwzględnieniem harmonicznego charakteru atmosferycznych zmian temperatury. Sinusoidalne zmiany wielkości wejściowych na zewnętrznej powierzchni przegrody obiektu budowlanego powodują również sinusoidalny charakter zmian na wewnętrznej ścianie pomieszczenia. Przeprowadzone badania cieplne na rzeczywistym obiekcie pozwoliły na optymalny projekt komory ze względu na energetyczny aspekt przy jej eksploatacji.

**Słowa kluczowe:** wymiana ciepła, energia, oszczędność energii w budynkach.

### **WSTĘP**

Projektowanie domu czy też dowolnego obiektu budowlanego pod względem ochrony cieplnej konstrukcji wymaga znajomości zasad i procesów opisywanych przez fizykę budowli. Budowle – komory techniczne powinny spełniać wymagania związane z oszczędzaniem energii przy jednoczesnym zachowaniu komfortu cieplnego w pomieszczeniach. Nieznajomość procesów cieplnych występujących w obiektach budowlanych a w szczególności nie dotrzymanie poziomu wartości współczynników przewodzenia ciepła przez przegrody, może doprowadzić do marnotrawienia stale drożejącej energii a tym samym do nadmiernego zanieczyszczania powietrza atmosferycznego.

Problem oszczędzania energii na początku XXI wieku staje się jeszcze bardziej istotny niż w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy to po raz pierwszy pojawił się kryzys energetyczny związany z konfliktem zbrojnym na Bliskim Wschodzie. Konflikt ten trwa do dnia dzisiejszego w różnym stopniu nabrzmiały a dotyczy również kontroli nad źródłami konwencjonalnej energii.

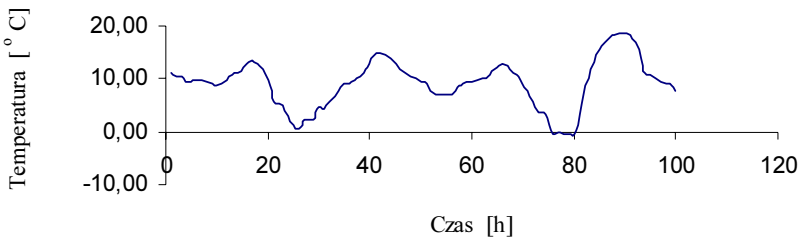
---

<sup>1)</sup> Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

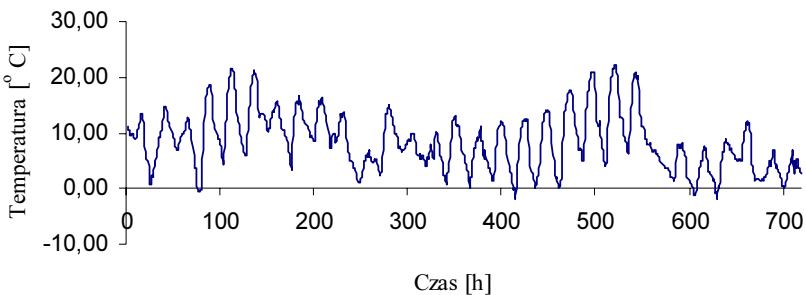
## DYNAMIKA ZMIAN TEMPERATURY ATMOSFERYCZNEJ I JEJ WPŁYW NA WYMIANĘ CIEPŁA PRZEZ PRZEGRODY KOMORY

Umiejętność obliczania ilości wymienianego ciepła z otoczeniem oraz utrzymywania temperatury określonego pomieszczenia ma pierwszorzędne znaczenie dla projektowania a następnie prawidłowego eksploataowania urządzeń i obiektów w energetyce ciepłej, chłodnictwie, przemyśle spożywczym i w budownictwie. Dotychczas stosowane metody projektowania zewnętrznych przegród obiektów budowlanych uwzględniają warunki klimatyczne niestety tylko w sposób statyczny – określając średnią temperaturę powietrza w regionie. Tymczasem, jak jest powszechnie wiadomo, zmiany temperatury powietrza atmosferycznego są ze swej natury dynamiczne, występuje w nich składowa zmienna dobowa, dekadowa, miesięczna czy nawet roczna. Na poniższych rysunkach przedstawione są wybrane przebiegi temperatury atmosferycznej zarejestrowane w różnych porach roku w okolicach Lublina w celu wykazania ich oscylacyjnego charakteru w postaci sinusoidalnej zmienności.

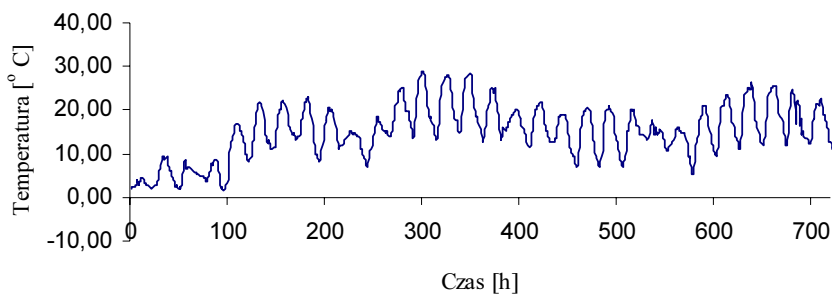
Projektując zatem zewnętrzną kilkuwarstwową przegrodę budynku – komory technicznej, należy wyżej wymienioną dynamikę zmian temperatury powietrza atmosferycznego uwzględnić, ponieważ ma ona znaczący wpływ na oszczędność energii agregatów chłodzących lub ogrzewających obiekt budowlany. Projekt taki miałby zapew-



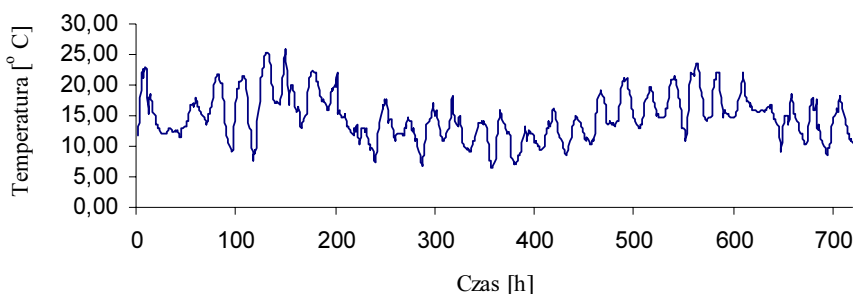
**Rys. 1.** Przebiegi dobowe temperatury atmosferycznej zarejestrowane w okolicach miasta Lublina w pierwszych trzech dniach miesiąca kwietnia



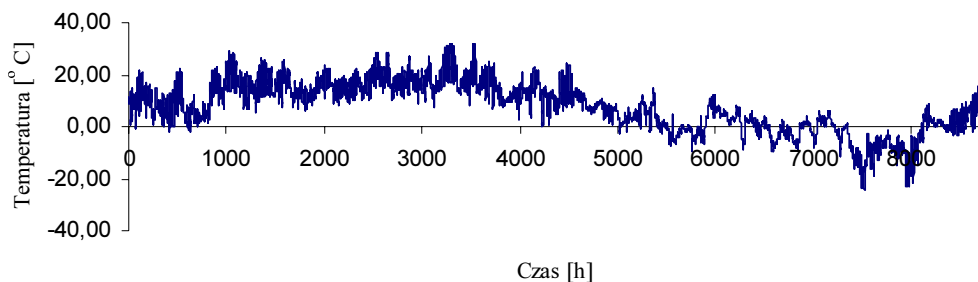
**Rys. 2.** Przebiegi temperatury atmosferycznej zarejestrowane w okolicach Lublina w miesiącu kwietniu



**Rys. 3.** Przebiegi temperatury atmosferycznej zarejestrowane w okolicach miasta Lublina w miesiącu maju



**Rys. 4.** Przebiegi temperatury atmosferycznej zarejestrowane w okolicach Lublina w miesiącu czerwcu



**Rys. 5.** Przebiegi temperatury atmosferycznej zarejestrowane w okolicach Lublina w okresie jednego roku (od kwietnia 2007 do marca 2008)

nić taką bezwładność cieplną budynku (uzyskaną poprzez odpowiedni dobór materiałów budowlanych, ich grubości oraz ilości warstw przegrody), która pozwoliłaby dodatkowo wesprzeć energooszczędność zastosowanych w nim urządzeń. Najprościej wyjaśniając to zjawisko – chodzi w nim o tłumienie pojawiającej się amplitudy zmian temperatury we wnętrzu komory na skutek harmonicznych zmian temperatury zewnętrznej. Tak więc tłumienie to jest rezultatem przesunięcia fazowego wektora strumienia

ciepła przenikającego do pomieszczenia. Wielkość tego tłumienia i fazowe przesunięcie można przewidzieć na podstawie modelu matematyczno-fizycznego wykorzystującego na przykład analogię elektryczną w procesach związanych z wymianą ciepła.

W praktyce możemy uzyskać potwierdzenie przedstawionych rozważań dotyczących stabilności cieplnej obiektów chociażby na przykładzie istniejących do dnia dzisiejszego średniowiecznych budowli, np. kościołów, bibliotek czy zamków, w których nie ma potrzeby stosować klimatyzację w upalne dni lata a zimą specjalnego ogrzewania. Tak, więc współcześnie odpowiednio skonstruowana przegroda, zapewniająca inercyjność cieplną komory, pozwoli uzyskać znaczące oszczędności energii niezbędnej do utrzymywania określonej temperatury wewnątrz obiektów budowlanych.

## **WSPÓŁCZYNNIK PRZEWODZENIA CIEPŁA I JEGO ZNACZENIE W BADANYCH KOMORACH**

Parametrem określającym przewodność cieplną jest współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ], który zależy między innymi od gęstości objętościowej i struktury materiału przegrody, od wilgotności oraz temperatury. Współczynnik przewodzenia ciepła jest informacją o strumieniu energii, jaki przepływa przez jednostkową powierzchnię warstwy materiału o grubości 1 m, przy różnicy temperatur po obydwu stronach tej warstwy, równej 1 K ( $1^\circ\text{C}$ ).

Im większa jest gęstość objętościowa tym większy jest współczynnik, a tym samym materiał ma gorszą izolacyjność. Ponadto w materiałach o tych samych substancjach, lecz różnych gęstościach, występują różne współczynniki przewodzenia ciepła. Wzrost temperatury powoduje wzrost przewodności cieplnej materiałów budowlanych. Dzieje się tak, dlatego że następuje zwiększenie przewodności cieplnej substancji stałej i powietrza zawartego w porach. Jednocześnie w porach występuje przepływ ciepła wskutek promieniowania. Praktyczne zastosowanie tego zjawiska ma znaczenie tylko, gdy materiały są stosowane w wysokich lub niskich temperaturach, tj. np. izolacja gorących zbiorników. W przegrodach budowlanych wahania temperatur są stosunkowo niskie, co pozwala pominąć zmiany przewodności cieplnej. Jednak określając wartość współczynnika  $\lambda$  należy zawsze podawać temperaturę w jakiej został on oznaczony.

Zjawisko przewodzenia ciepła przez ściany zewnętrzne pomieszczeń stanowi największą część wymiany ciepła w komorach. Dominuje ono w całkowitym bilansie cieplnym obiektów budowlanych przeznaczonych zarówno do stałego przebywania w nich osób jak też i obiektów, w których przebywanie pracowników jest krótkotrwałe. Przegrody zewnętrzne spełniają funkcje ochronną nie tylko w stosunku do strat cieplnych lecz jednocześnie regulują warunki wilgotnościowe oraz powietrzne w pomieszczeniach. Ściany zewnętrzne powinny w określonym stopniu umożliwić przenikanie powietrza oraz pary wodnej przy jednoczesnym wchłanianiu wilgoci.

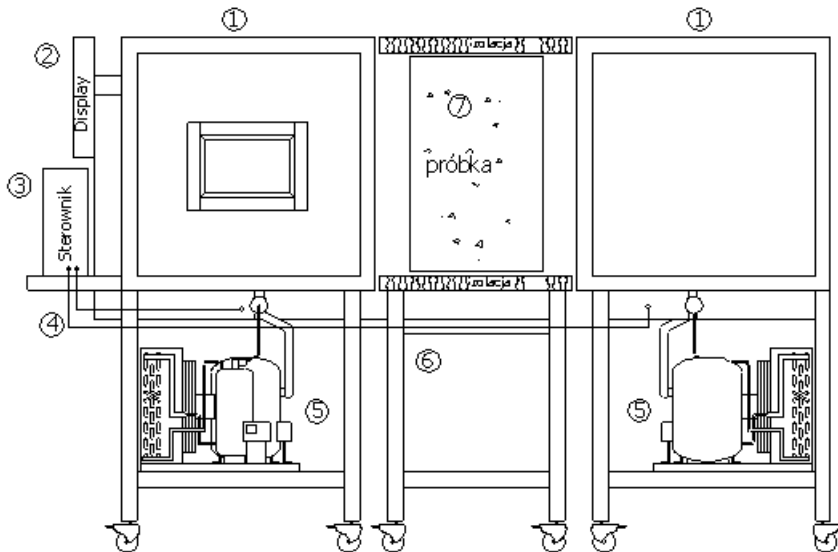
Jak jest powszechnie wiadomo, wartości fizyczne materiałów budowlanych ulegają niekorzystnym dla użytkownika zmianom pod wpływem zawilgocenia ściany.

Wilgoć ujemnie wpływa na jakość izolacji przegrody jak też i na jej trwałość. Celem skutecznej ochrony budynku przed wilgocią jest unikanie negatywnych wpływów jej obecności i wynikających z tego usterek lub szkód. Warunkiem utrzymania w pomieszczeniach budynku komfortowego mikroklimatu są suche przegrody, otaczające to pomieszczenie. Wilgotne przegrody znacznie uniemożliwiają utrzymanie komfortowych warunków, jest to wręcz niemożliwe, nawet przy bardzo intensywnym ogrzewaniu. W ochronie przed wilgocią bardzo istotny jest także przepływ pary wodnej. Dyfuzja pary wodnej przez przegrody budowlane to proces wyrównywania cząstkowych ciśnień pary wodnej pomiędzy dwoma środowiskami, które rozdziela przegroda. Przepływ pary wodnej odbywa się od środowiska o wyższej koncentracji pary do środowiska o koncentracji niższej, tak więc para wodna będzie zawsze dyfundować w tym kierunku, gdzie powietrze jest bardziej suche. Właściwości materiałów związanych z dyfuzją pary wodnej przez materiały budowlane charakteryzuje współczynnik paroprzepuszczalności [ $\text{mg}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})$ ]. Odpowiada on ilości pary wodnej w miligramach, jaka dyfunduje przez  $1 \text{ m}^2$  warstwy materiału o grubości  $1 \text{ m}$  w ciągu jednej godziny i przy różnicy ciśnień po obydwu stronach tej warstwy równej  $1 \text{ Pa}$ . Podobnie, jak dla przepływu ciepła przez powłokę zewnętrzną budynku, wprowadzono pojęcie oporu dyfuzyjnego dowolnej warstwy materiału:  $Z = d / \delta$ , gdzie:  $d$  – grubość warstwy [ $\text{m}$ ].

Woda zamknięta w porach ma współczynnik  $\lambda$  ok.  $0,56 [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$  a więc około 20 razy większy od współczynnika  $\lambda$  powietrza zamkniętego w porach o średnicy około  $0,05 \text{ mm}$  materiału budowlanego. Dodatkowy wpływ na proces przewodzenia ciepła ma dyfuzja pary wodnej, z którą połączone jest zwiększone przenoszenie ciepła oraz kapilarne przemieszczanie się wilgoci. Ze wzrostem wilgotności materiałów następuje wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła. I dlatego obniżenie wartości termoizolacyjnych przez wilgoć spowodowane jest tym, że na miejsce powietrza zawartego w porach wchodzi właśnie woda.

Proces ten nie przebiega jednakowo w różnych materiałach, zależny jest od struktury i pochodzenia materiału, np. w betonach komórkowych przyjmuje się, że przyrost współczynnika  $\lambda$  wynosi ok.  $4,5\%$  na  $1\%$  przyrostu wilgoci.

Celem zweryfikowania tego zjawiska przeprowadzono eksperyment na stanowisku laboratoryjnym (rys. 6.) najpierw dla materiału mokrego a następnie podobny eksperyment powtórzono dla materiału bezpośrednio wyjętego z pieca – suszarki, tzn. dla cegły suchej. Warunki zewnętrzne eksperymentu dla obu przypadków były takie same. Temperatura w komorze cieplej była zaprogramowana na poziomie  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$  a temperatura w komorze zimnej na wartość  $+1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mierzone wartości temperatur na obu powierzchniach cegły oraz w jej wnętrzu rejestrowane były niezależnie dla każdego z zainstalowanych sensorów, a następnie zapisywane na dysku komputera przy kroku pomiarowym wynoszącym  $15 \text{ minut}$ . Równoległe z pomiarem temperatury rejestrowana była również przy pomocy programu komputerowego wilgotność cegły. Uzyskane z pomiarów wartości temperatur, gęstości strumieni ciepła oraz wilgotności posłużyły do wyliczeń energetycznych w bilansie ciepła dla różnorodnych komór technicznych.



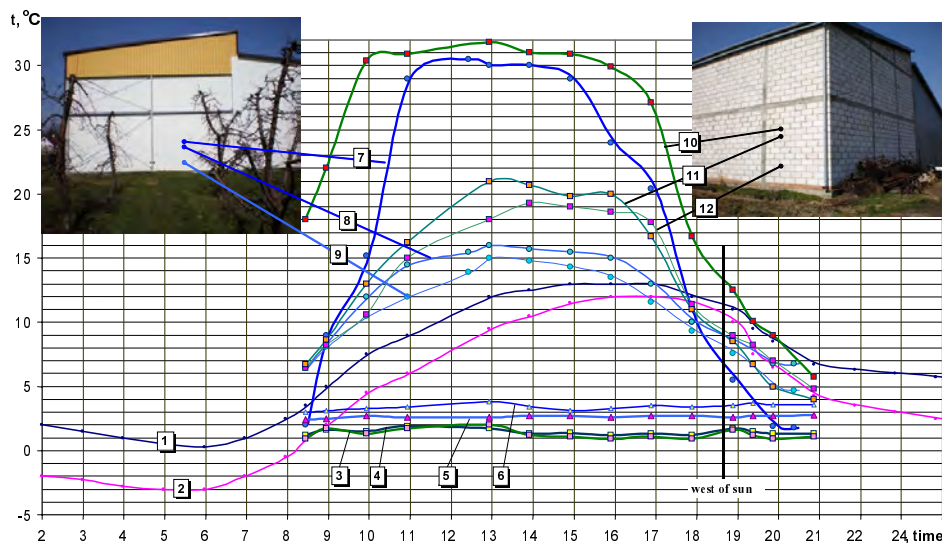
Rys. 6. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania gęstości strumieni ciepła

## REZULTATY BADAŃ PROCESÓW CIEPLNYCH W PRZECHOWALNI JABŁEK

Badania dotyczące uzyskania oszczędności energii przeznaczonej na utrzymanie pożądanego mikroklimatu wewnątrz przechowalni owoców rozpoczęły się poprzez przeprowadzenie pomiarów temperatur i strumieni przenikającego ciepła w różnych miejscach ścian jak i podłóg w eksploatowanych komorach cieplnych.

Objektami przeprowadzanych badań były przechowalnie jabłek i gruszek o pojemności 80 ton owoców każda, składowanych w drewnianych i przewiewnych skrzyniach. Temperatura przechowywania we wnętrzu każdej z komór utrzymywana była na poziomie od około  $0^{\circ}\text{C}$  do  $+1^{\circ}\text{C}$  przez cały okres posezonnowy owoców.

Pomiary temperatur i strumieni ciepła zostały przeprowadzone w okresie zimowo – wiosennym w roku 2007 na powierzchniach zewnętrznych oraz wewnętrznych na przegrodach obwodowych jak również na podłogach. Przegrody pierwszej komory zbudowane była z warstwy poliuretanu o grubości 12 cm a drugiej komory ze styropianu o grubości 20 cm. Obie ściany zewnętrzne obiektów chłodniczych pokryte były obustronnie powlekaną blachą stalową. Temperatura atmosferyczna powietrza była pobrana z dobowych wykresów zmian temperatury dla tego miejsca, tzn. regionu Radzyna Podlaskiego, dostępnych na stronach internetowych numerycznego prognozowania pogody. Przeprowadzone zostały pomiary gęstości strumieni ciepła w siedmiu odległych od siebie o około 1 metra punktach zewnętrznej warstwy przegrody na wszystkich czterech stronach obu komór przechowalniczych owoców. Podobne pomiary gęstości strumieni ciepła przeprowadzono na wewnętrznych warstwach ścian oraz na



Rys. 7. Dobowe przebiegi rozkładu temperatur na powierzchniach przechowalni owoców

podłogach komór. Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły wskazać miejsca występowania największych strat ciepła w eksploatowanych obiektach chłodniczych. Poza miejscami związanymi z niedostateczną izolacyjnością komór przechowalniczych wskazano również przyczyny pojawiających się strat ciepła ze względu na orientację geograficzną obiektu jak i na umiejscowienie przyległego do przechowalni jabłek i gruszek pomieszczenia technicznego i magazynu.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione na powyższym rysunku wyniki pomiarów są fragmentem badań związanych z przepływem ciepła przez przegrody przechowalni i dokonywane były w różnych wariantach zarówno temperaturowych jak i czasowych jak również na rzeczywistych jak i na modelowych obiektach. Przy pomocy różnorodnych sond pomiarowych można było odczytywać wartości temperatur jak i strumieni ciepła w dowolnych miejscach badanej ściany. Na stanowisku laboratoryjnym można było symulować na obu stronach przegrody różne warunki związane z przebiegiem temperatury atmosferycznej jak również z żądanym reżimem cieplnym wewnątrz komory. Uzyskane wyniki pozwalają optymalizować konstrukcję przegród komory przechowalniczej uzyskując w związku z tym wymierne efekty ekonomiczne. Możemy się śmiało domyślać, że zapotrzebowanie stale drożejącej energii elektrycznej na utrzymywanie temperatury o wartości jednego stopnia Celsjusza we wnętrzu przechowalni przez okres ponad pół roku w naszym klimacie wymaga znacznych nakładów finansowych. W wyniku współ-



pracy z sadownikami i jednocześnie z właścicielami przechowalni owoców można było stwierdzić aktualny stan zapotrzebowania na energię a jednocześnie wskazać drogę do uzyskania oszczędności energetycznych przy eksploatacji przechowalni jabłek.

## PIŚMIENNICTWO

1. Carlslaw H., Jaeger J.: Conduction of heat in solids. Oxford University, 1959.
2. Janczarek M., Skalski P., Suchorab Z.: Przewodzenie ciepła przez przegrodę w stanach ustalonych i nieustalonych. W: Informatyka w technice, Tom I., Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2006.
3. Janczarek M., Skalski P., Bulyandra A., Sobczuk H.: Przewodność cieplna zewnętrznych ścian budynków w aspekcie wilgotności i oszczędności energii Rynek Energii, nr 4 (65) 2006.
4. Janczarek M.: Wyznaczanie bilansu cieplnego komór chłodniczych. W: Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej Rynek Ciepła 2006. Kaprint, Lublin 2006.
5. Janczarek M., Bulyandra O.F.: Zbierigannia fruktiv u gazowich serediwyszczach. Harchowa Promislowist, nr 5 UDK 664(04)(082), Kyiv, Ukraine 2007.
6. Janczarek M.M., Bulyandra O.F., Szapowalenko O. I., Winogradov-Saltykov W.A.: Osobiennosti rasczieta tiepłowowo balansa tiepłowych kamer chranienia fruktow. Naukowi Praci, wipusk 31, tom 2, Odessa Nacionalna Akademia Charczowych Technologii. Odessa, Ukraine 2007.
7. Janczarek M.M.: Determining of coefficient of heat transfer in bricks depended from degree of their moisture. CEEPUS WEB Summer School 2007 "Informatics Systems in Automation", University of Maribor. Maribor, Slovenia 2007.
8. Janczarek M.M. The analysis of wall temperatures in a fruit storage in the aspect of transient heat flow. Engineering Mechanics 2009. Svratka, Czech Republic 2009.
9. Janczarek M.M.: Technological description of heat and mass transfer processes in thermal treatment of fruit storage chambers. Engineering Mechanics 2009. Svratka, Czech Republic 2009.
10. Winogradov-Saltykov W.A., Janczarek M.M., Fiedorow W.G., Kiepk O.I.: Tieplometriczeskije issliedowanie tieplozaszczitnych swoistw ograzdienij. Industrial Heat Engineering, International Scientific and Applied Journal, Vol. 31., No 4/2009, Kyiv, Ukraine: 116–123.

## ENERGETIC EFFECTS IN EXPLOITATION THERMAL TREATMENT CHAMBERS FOR FRUIT IN REGION OF LUBLIN

### Summary

In this paper is presented new concept of thermal analysis derived from harmonic character of temperature changes in bilding environment. The analytical approach seems appropriate to obtain established purposes i.e.: the description of temperature changes and heat transfer within the chamber walls and its gaseous environment. The paper presents exemplary measurement results taken in Lublin region during various periods throughout a year. The proper construction of an object with prescribed thermo-stability characteristic can use the phase difference between internal and external temperature and allow to lower costs of energy, necessary for cooling or heating the technical spaces.

**Key words:** heat exchanges, energy, savings of energy in buildings.